

ЕТАПИ ОБРОБЛЕННЯ ПОКАЗНИКІВ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО 3D-СКАНУВАННЯ ДОРОЖНЬОГО ПОКРИВУ З ВИКОРИСТАННЯМ *TRIMBLE REALWORKS*

Батракова А. Г., Шелкова І. С., Дорожко Є. В., Саркісян Г. С., Урдзік С. М.
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

Анотація. У статті розглянуто технологію оброблення показників наземного лазерного 3D-сканування дорожнього покриття з використанням Trimble RealWorks. Описано ключові етапи оброблення: «зшивання» хмар точок, класифікацію об'єктів та створення триангуляційних моделей для виявлення дефектів.

Ключові слова: наземне лазерне 3D-сканування, дефекти покриття дорожнього одягу, хмара точок, Trimble RealWorks, Mesh-модель.

Вступ

Одним із завдань наземного лазерного 3D-сканування є моніторинг стану дорожнього покриття з можливістю виявлення й позиціонування дефектів на покритті дорожнього одягу [1–5]. Завдяки здатності високоточного вимірювання з точністю до кількох міліметрів лазерне 3D-сканування забезпечує неперервний контроль і повне охоплення поверхні, що стає важливим елементом під час діагностики та оцінювання стану дорожнього покриття, проектування ремонтних робіт, визначення обсягів матеріалів.

Використання сучасних лазерних 3D-сканерів значно прискорює польові роботи, оскільки більша частина завдань з оброблення показників переноситься на камеральний етап. Під час польової частини зйомки збирається значний обсяг інформації, що далі потребує систематизації, фільтрації та створення цілісних цифрових моделей дорожнього покриття. Це ставить питання про необхідність вибору відповідного програмного забезпечення для роботи з великими обсягами інформації, адже саме від нього залежать точність і ефективність подальшого оброблення.

Нині існує широкий вибір програмного забезпечення для оброблення хмар точок, які застосовуються для створення тривимірних моделей, аналізу просторових показників і візуалізації об'єктів. Серед основних програмних рішень виокремлюють Autodesk Recap, Leica Cyclone, Faro Scene, а також Trimble RealWorks.

Аналіз публікацій

Існує широкий спектр методів оброблення хмар точок, які активно розробляють і впроваджують для аналізу й моделювання структурних елементів дорожнього покриття та

інших топографічних об'єктів.

З-поміж ключових підходів можна виокремити метод визначення середньої лінії дороги, що дає змогу будувати статистично згладжені просторові лінії по хмарі точок й мінімізувати відхилення траєкторії. Важливою є також ідентифікація структурних елементів за допомогою алгоритмів машинного навчання, що забезпечують високу точність і швидкість розпізнавання навіть у складних умовах [6–9].

Для створення поперечного та поздовжнього профілів дороги впроваджують методи інтерполяції хмар точок, що дають змогу точно відтворити геометричні властивості дорожньої поверхні. Дефекти виявляють за допомогою аналізу текстур, що передбачає оброблення даних за допомогою алгоритмів фільтрації та згладжування для зменшення шуму й підвищення точності результатів [10].

Крім того, важливою є класифікація хмар точок на основі геометричних і текстурних ознак, яка дає змогу автоматизувати розпізнавання дорожніх знаків і розмітки. Для складних моделей часто застосовується параметрична ідентифікація, яка передбачає визначення нормалей до точок поверхні, що сприяє покращенню топографічного аналізу об'єктів.

Мета й постановка завдання

Метою статті є розроблення етапів оброблення показників наземного лазерного 3D-сканування дорожнього покриття з використанням програмного забезпечення Trimble RealWorks. Для досягнення поставленої мети необхідно:

– розглянути функціональні можливості програмного забезпечення Trimble RealWorks;

– визначити ключові етапи оброблення інформації, а також запропонувати рекомендації для їх ефективного застосування в практичній діяльності.

Функціональні можливості програмного забезпечення *Trimble RealWorks*

Програмне забезпечення *Trimble RealWorks* сприяє можливості «зшивати», відтворювати, аналізувати та обробляти хмари точок, отриманих за допомогою лазерних 3D-сканерів і геодезичних інструментів *Trimble*. Це потужне й водночас просте у використанні програмне забезпечення дає змогу користувачам:

- обробляти й аналізувати великі набори даних і керувати ними;
- ефективно працювати з великими обсягами інформації, застосовуючи спеціальну технологію часткового завантаження;
- виконувати інтелектуальні вимірювання, зокрема напіваавтоматичне очищення, вертикальне й горизонтальне проектування;
- легко виділяти маркери в показниках сканування;
- обмінюватися отриманими результатами за допомогою згенерованих відеофайлів та обмінних файлів *Google Earth* (у форматі KML);
- «зшивати» скани в повністю автоматичному режимі;
- об'єднувати вимірювання, виконані різними інструментами, зокрема 3D-сканерами, оптичними та GNSS-інструментами *Trimble*;
- легко експортувати показники до обраних програмних пакетів САПР;
- створювати автономні пакети для перегляду, виконання та анотування проєктів поза межами програмного забезпечення.

«Зшивання» хмар точок у єдину точкову модель

Етап «зшивання» є важливим для подальшої роботи з показниками, оскільки від якості «зшивання» залежить точність відтворення об'єкта та достовірність отриманої інформації. Мета «зшивання» – поєднати окремі скани, виконані з різних станцій, в одну модель без розривів, що дає змогу отримати повний вигляд об'єкта, зменшити похибки та зберегти топологічну цілісність.

У програмному забезпеченні *Trimble RealWorks* реалізовано автоматизовані алгоритми, які спрощують «зшивання» хмар точок. Першим кроком є імпорт інформації, отриманої під час сканування. Після цього застосовуються алгоритми автоматичного

«зшивання», які знаходять спільні точки та поверхні між сканами, забезпечуючи їх точне поєднання (рис. 1).

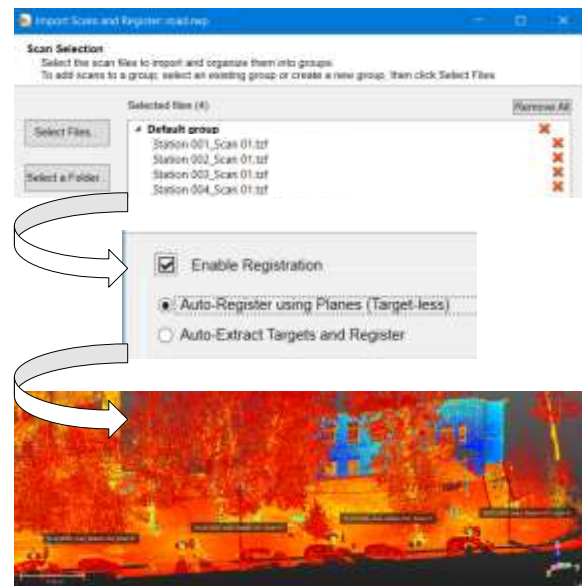


Рис. 1. Етапи автоматизованого «зшивання» хмар точок у програмному забезпеченні *Trimble RealWorks*

Наступним кроком є контроль якості «зшивання». За необхідності можна використовувати ручне налаштування, щоб виправити можливі відхилення та забезпечити високу точність моделі. Програмне забезпечення *Trimble RealWorks* автоматично формує звіт після «зшивання» хмар точок (рис. 2).

03/14/2024, road_Station 001_Scan 01 - Stations with common points -			
Object name	Error Overlap (mm)	Correctness (%)	
road_Station 002_Scan 01	0.79 mm	61%	99%
road_Station 003_Scan 01	1.48 mm	38%	97%
road_Station 004_Scan 01	3.37 mm	25%	88%

03/14/2024, road_Station 002_Scan 01 - Stations with common points -			
Object name	Error Overlap (mm)	Correctness (%)	
road_Station 001_Scan 01	0.79 mm	61%	99%
road_Station 003_Scan 01	0.80 mm	52%	99%
road_Station 004_Scan 01	1.84 mm	37%	96%

03/14/2024, road_Station 003_Scan 01 - Stations with common points -			
Object name	Error Overlap (mm)	Correctness (%)	
road_Station 001_Scan 01	1.38 mm	38%	97%
road_Station 002_Scan 01	0.80 mm	52%	99%
road_Station 004_Scan 01	0.87 mm	55%	99%

03/14/2024, road_Station 004_Scan 01 - Stations with common points -			
Object name	Error Overlap (mm)	Correctness (%)	
road_Station 001_Scan 01	3.37 mm	25%	88%
road_Station 002_Scan 01	1.84 mm	37%	96%
road_Station 003_Scan 01	0.87 mm	55%	99%

Рис. 2. Звіт про об'єднання сканів після «зшивання» хмар точок у програмному забезпеченні *Trimble RealWorks*

Звіт містить інформацію про якість і точність об'єднання сканів, що корисно для до-

кументування процесу й подальшої верифікації результатів.

Оброблення хмар точок

Для початкового етапу оброблення важливо провести автоматичну класифікацію об'єктів на вулиці, що дає змогу структурувати інформацію та виокремити потрібні елементи для подальшого аналізу. Інструменти *Trimble RealWorks* допомагають автоматично розподілити хмару точок на такі класи:

- *Ground* (поверхня землі);
- *Building* (будівлі);
- *Poles and Signs* (стовпи та знаки);
- *Power Lines* (лінії електропередач);
- *High Vegetation* (висока рослинність);
- інші об'єкти, що потрапляють до категорії *Remaining* (залишкові).

Це дає змогу зосередити увагу на конкретних ділянках дороги та знизити навантаження на комп'ютерні системи під час оброблення великих обсягів інформації, фільтруючи точки за різними параметрами (рис. 3).

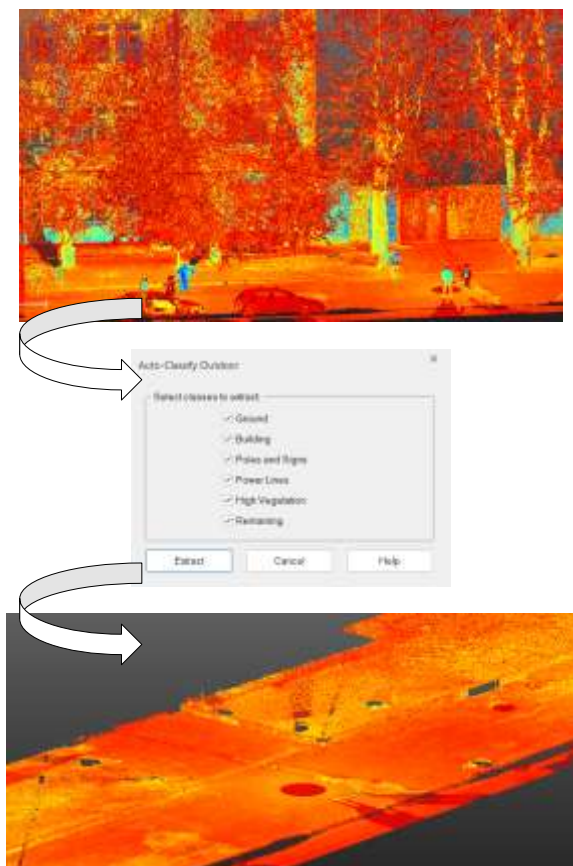


Рис. 3. Результат автоматичної класифікації об'єктів на вулиці в *Trimble RealWorks* з обраним класом *Ground*

Процес очищення інформації передбачає видалення непотрібних точок, які можуть

негативно вплинути на точність подальших аналізів. Для цього застосовується функція сегментації, що дає змогу вручну перевірити інформацію та видалити небажані елементи перед побудовою поверхні. Алгоритми машинного навчання, застосовані для автокласифікації, продемонстрували високу точність, але все одно потребують додаткової перевірки через можливі залишкові помилки. Наприклад, деякі об'єкти, такі як частини стовпів або дерева, а також неправильно класифіковані предмети потребують ручного видалення для забезпечення коректності моделі (рис. 4).

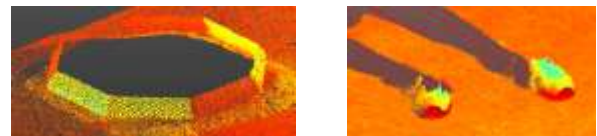


Рис. 4. Приклад об'єктів, що потребують ручного видалення після автокласифікації для забезпечення коректності моделі

Ручне видалення непотрібних точок є кропітким процесом. Під час видалення об'єкта автоматично охоплюються елементи позаду нього, що може призвести до втрати інформації. Для запобігання цьому застосовується інструмент обмеження ділянки (рис. 5).

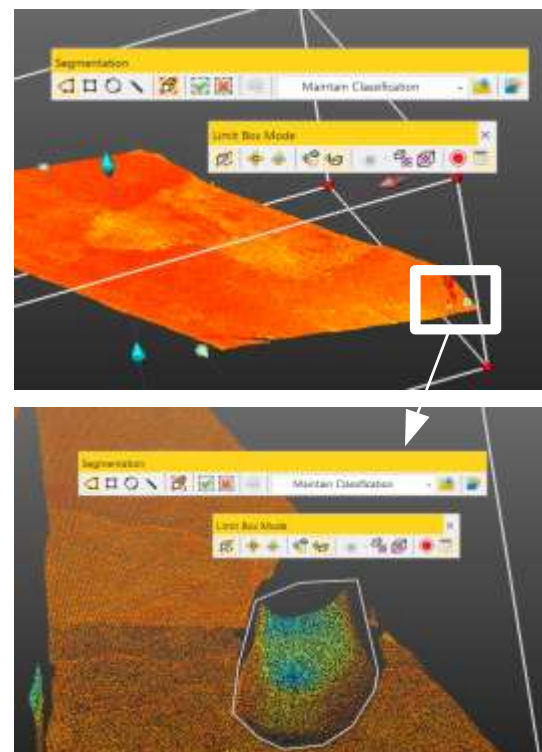


Рис. 5. Процес ручного видалення точок із використанням інструменту обмеження ділянки для запобігання втрати інформації

Після очищення хмари точок створюється *Mesh*-модель, що є тривимірним відтворенням геометрії ділянки. Така модель забезпечує високу точність відтворення структури дорожнього покриття, що є важливим для детального аналізу поверхневих дефектів. Процес створення *Mesh*-моделі базується на методі тріангуляції, який дає змогу точно реконструювати форму й текстуру поверхні, забезпечуючи необхідну точність для подальших аналітичних процедур (рис. 6).

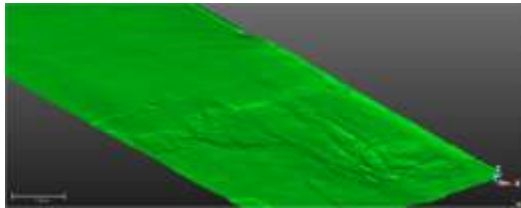


Рис. 6. Тріангуляційна модель для оцінювання стану дорожнього покриття

Висновки

Технологія наземного лазерного 3D-сканування демонструє суттєвий потенціал для моніторингу й оцінювання стану дорожнього покриття завдяки високій точності (до 2 мм) та швидкості збору інформації (до 500 000 точок за секунду).

Використання програмного забезпечення *Trimble RealWorks* дає змогу ефективно обробляти великі масиви точкових даних за допомогою автоматизованих алгоритмів «зшивання» сканів і створення єдиної точкової моделі, що значно підвищує достовірність технічної діагностики геометричних параметрів дорожніх конструкцій.

Упровадження автоматичної класифікації об'єктів з поділом на категорії (*Ground, Building, Poles and Signs* тощо) суттєво оптимізує процес оброблення даних, зменшуючи навантаження на комп'ютерні системи під час роботи з великими обсягами інформації. Важливим етапом залишається ручне очищення хмари точок від непотрібних елементів з використанням інструментів обмеження ділянки, що забезпечує високу точність моделі для подальшого виявлення та позиціювання дефектів дорожнього покриття.

Створення тріангуляційної *Mesh*-моделі на основі очищеної хмари точок дає змогу отримати тривимірне відтворення геометрії дорожньої ділянки з точною передачею структури й текстури поверхні.

Це значно розширює можливості щодо детального оцінювання стану дорожнього покриття, планування ремонтних робіт та прогнозування матеріальних витрат.

Література

1. Особливості технології наземного лазерного 3D-сканування для аналізу стану дорожнього покриття / А. Г. Батракова та ін. *Вісник ХНАДУ*. 2024. № 107. С. 124–129.
2. Інноваційні технології у галузі геодезії, землеустрою та проектування: колективна монографія. Харків: ХНАДУ, 2021. 486 с.
3. Bo Chen, Chunlong Xiong, Weixiong Li, Jiarui He, Xiaoning Zhang. Assessing Surface Texture Features of Asphalt Pavement Based on Three-Dimensional Laser Scanning. *Technology. Buildings*, 2021, 11, 623. P. 1–21.
4. Horst B. B., Lindenbergh R. C., Puister S. W. J. Mobile laser scan data for road surface damage detection. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, Vol. XLII-2/W13, 2019. P. 1141–1148.
5. Azam, A., Alshehri, A.H., Alharthai, M., El-Banna, M.M., Yosri, A.M., Beshr, A.A.A. Applications of Terrestrial Laser Scanner in Detecting Pavement Surface Defects. *Processes*, 2023. 11, 1370. P. 1–18.
6. Колб І., Процик М. Методика автоматичного виділення структурних ліній рельєфу з растрових ЦМР, створених за даними лазерного сканування. *Геодезія, картографія і аерофотознімання*, № 72. 2009. С. 69–74.
7. Ramachandraiah, S. T., Kumar, P., Pasupunuri, S. K., Shinganmakki, J. R. Evaluation of Pavement Surface Distress Using Image Processing and Artificial Neural Network. *ASTM International. J. Test. Eval.* July 2023. 51 (4): 2041–2056.
8. Kothai R., Prabakaran N., Srinivasa Murthy Y., Reddy Cenkeramaddi L., Kakani V. Pavement Distress Detection, Classification, and Analysis Using Machine Learning Algorithms: A Survey. *IEEE Access*, vol. 12, 2024. pp. 126943–126960
9. Qureshi WS, Hassan SI, McKeever S, Power D, Mulry B, Feighan K, O'Sullivan D. An Exploration of Recent Intelligent Image Analysis Techniques for Visual Pavement Surface Condition Assessment. *Sensors*. 2022, 22 (22):9019.
10. Xian-Feng Han, Jesse S. Jin, Ming-Jie Wang, Wei Jiang, Lei Gao, Liping Xiao. A review of algorithms for filtering the 3D point cloud. *Signal Processing: Image Communication*. Vol. 57, 2017, pp. 103–112.

References

1. Batrakova, A, Shelkova, I., Dorozhko, Ye., Sarkisian, H. & Urdzik, S. (2024). Features of Terrestrial Laser 3D Scanning Technology for Pavement Condition Assessment. *Visnyk KhNADU*, 107, 124–129 [in Ukrainian].
2. Innovatsiini tekhnolohii u haluzi heodezii, zemleustroi ta proektuvannia. [Innovative technologies in the field of geodesy, land management and design]: kolektyvna monohrafiia. (2021). Kharkiv: KhNADU [in Ukrainian].
3. Chen, B., Xiong, C., Li, W., He, J., & Zhang, X. (2021). Assessing surface texture features of asphalt pavement based on three-dimensional laser

- scanning technology. *Buildings*, 11 (623), 1–21.
4. Horst, B. B., Lindenbergh, R. C., & Puister, S. W. J. (2019). Mobile laser scan data for road surface damage detection. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-2/W13, 1141–1148.
 5. Azam, A., Alshehri, A. H., Alharthai, M., El-Banna, M. M., Yosri, A. M., & Beshr, A. A. (2023). Applications of terrestrial laser scanner in detecting pavement surface defects. *Processes*, 11(1370), 1–18.
 6. Kolb I. & Protsyk M. (2009). Methodology for automatic selection of relief structural lines from raster DEMs created from laser scanning data. *Geodesy, cartography and aerial photography*. 69–74.
 7. Ramachandraiah, S. T., Kumar, P., Pasupunuri, S. K., and Shinganmakki, J. R. (2023). Evaluation of Pavement Surface Distress Using Image Processing and Artificial Neural Network. *ASTM International. J. Test. Eval.* July 2023; 51 (4): 2041–2056.
 8. Kothai R., Prabakaran N., Srinivasa Murthy Y., Reddy Cenkeramaddi L., Kakani V. (2024) Pavement Distress Detection, Classification, and Analysis Using Machine Learning Algorithms: A Survey. *IEEE Access*, vol. 12, pp. 126943–126960.
 9. Qureshi, Waqar S., Syed Ibrahim Hassan, Susan McKeever, David Power, Brian Mulry, Kieran Feighan, and Dymrna O'Sullivan. 2022. An Exploration of Recent Intelligent Image Analysis Techniques for Visual Pavement Surface Condition Assessment. *Sensors* 22, no. 22:9019.
 10. Xian-Feng Han, Jesse S. Jin, Ming-Jie Wang, Wei Jiang, Lei Gao and Liping Xiao. (2017) A review of algorithms for filtering the 3D point cloud. *Signal Processing: Image Communication*. Vol. 57, pp. 103–112.

Батракова Анжеліка Геннадіївна, д. т. н., проф. кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою, agbatr@ukr.net, тел. +38 050-323-13-78;

Шелкова Ірина Сергіївна, асист. кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою, irinagunko98@gmail.com, +38 099-481-32-19;

Дорожко Євген Вікторович, к. т. н., доц. кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою, evgeniy.dorozhko@gmail.com, +38 068-069-97-22;

Саркісян Гор Саркісович, к. т. н., доц. кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою, gorsar14@gmail.com, +38 050-148-73-55;

Урдзік Сергій Миколайович, к. т. н., доц. кафедри проектування доріг, геодезії і землеустрою, urdzick@gmail.com, +38 067-593-50-92.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет, 61002, Україна, м. Харків, вул. Ярослава Мудрого, 25

Stages of Processing Data from Terrestrial Laser 3D Scanning of Road Pavement Using Trimble RealWorks

Abstract. Problem. Traditional methods of road condition monitoring have limitations in terms of data

accuracy and completeness, particularly in the detection of surface defects. There is a need for technologies that provide precise measurements with millimeter accuracy while ensuring rapid data collection to support effective maintenance and repair planning. Terrestrial laser 3D scanning offers potential solutions, but requires systematic data processing methodologies. **Goal.** This study aims to develop processing stages for terrestrial laser 3D scanning data of road pavement using Trimble Real Works software and to provide practical recommendations for its effective application in pavement condition assessment. **Methodology.** The research examines the functionality of Trimble RealWorks software for processing point cloud data obtained from terrestrial laser scanners. The methodology includes analyzing capabilities such as point cloud registration, display, analysis, and processing of data collected from Trimble laser 3D scanner. **Results.** The research establishes a structured workflow for processing terrestrial laser scanning data. The point cloud registration ("stitching") process combines individual scans into a unified model using automated algorithms that identify common points and surfaces between scans. The automatic quality control reporting feature provides verification of registration accuracy. The automatic classification of objects separates point clouds into categories, allowing focused analysis on road surfaces. Data cleaning through segmentation tools removes unwanted points that could negatively impact analysis accuracy. The creation of triangulated mesh models provides three-dimensional representation of road surface geometry with high precision, enabling detailed analysis of surface defects. **Practical value.** This study contributes to the field by developing a systematic approach to processing terrestrial laser scanning data specifically for road pavement analysis. **Key words:** terrestrial laser 3D scanning, pavement defects, point cloud, Trimble RealWorks, Mesh model.

Batrakova Angelika, Professor, Doct. of Science, Department of Highway Design, Geodesy and Land Management, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4067-4371>, agbatr@ukr.net;

Shelkova Iryna, Assistant, Department of Highway Design, Geodesy and Land Management, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2562-2175>, irinagunko98@gmail.com;

Dorozhko Yevhen, Ph.D., Assoc. Prof., Department of Highway Design, Geodesy and Land Management, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2894-2131>, evgeniy.dorozhko@gmail.com;

Sarkisian Hor, Ph.D., Assoc. Prof., Department of Highway Design, Geodesy and Land Management, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2343-4461>, gorsar14@gmail.com,

Urdzik Serhii, Ph.D., Assoc. Prof., Department of Highway Design, Geodesy and Land Management, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6914-1221>, urdzick@gmail.com.

Kharkov National Automobile and Highway University, 25, Yaroslava Mudrogo str., Kharkiv, 61002, Ukraine

